

Ciprofloxacin merupakan antibiotik dari golongan *fluoroquinolones* yang banyak digunakan untuk mengobati infeksi pada manusia maupun hewan. Residu ciprofloxacin yang tersisa dalam air limbah rumah sakit tidak dapat dihilangkan secara menyeluruh melalui pengolahan air limbah konvensional sehingga air limbah rumah sakit yang dibuang ke lingkungan masih mengandung ciprofloxacin dalam berbagai tingkat konsentrasi. Keberadaan senyawa ciprofloxacin di beberapa perairan sekarang ini telah menjadi perhatian karena dampaknya yang berbahaya terhadap lingkungan ataupun kesehatan manusia. Salah satu dampaknya adalah mikroorganisme patogen menjadi persisten dan bertahan di lingkungan jika dibiarkan terus-menerus. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian eksploratif terhadap pengolahan air limbah rumah sakit yang mengandung senyawa ciprofloxacin dengan proses adsorpsi menggunakan material karbon berpori dari polimer dan kemudian dilanjutkan dengan proses degradasi menggunakan beberapa teknologi oksidasi tingkat lanjut.

Tahapan dari penelitian ini meliputi pembuatan material karbon berpori teremban katalis besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$ ) dari prekursor polimer sintesis *resorcinol formaldehyde*. Material  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$  yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan  $\text{N}_2$ -*sorption analyzer*, SEM-EDX, XRD, dan TGA. Setelah dikarakterisasi, material digunakan untuk menyerap kontaminan ciprofloxacin dalam cairan pada berbagai variasi konsentrasi. Material  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$  yang telah jenuh menyerap ciprofloxacin kemudian dikontakkan dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan ozon untuk menghasilkan  $\text{OH}^*$  yang akan menguraikan ciprofloxacin yang terjerap di dalam padatan material tersebut.

Secara visual dari hasil karakterisasi SEM, dapat dilihat bahwa struktur morfologi antara karbon kosong dengan karbon teremban katalis besi oksida menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Karbon berpori teremban katalis besi oksida memiliki rongga yang lebih seragam serta posisi pori lebih rapat dibanding karbon kosong. Hasil analisis EDX juga membuktikan bahwa besi oksida telah berhasil ter-*loading* dengan baik pada karbon ditandai dengan kemunculan *peak* Fe pada hasil EDX material  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$ . Fasa dari katalis besi oksida yang terbentuk berdasarkan hasil karakterisasi XRD adalah *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Hasil analisis  $\text{N}_2$ -*sorption analyzer* menunjukkan bahwa luas permukaan spesifik karbon menurun dari  $594,3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  hingga  $333,9 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  setelah diemban katalis besi oksida. Namun, material  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$  memiliki nilai *maximum equilibrium uptake* ( $C_{\mu\text{max}}$ ) yang lebih besar dibandingkan karbon kosong, yakni  $208,31 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $189,38 \text{ mg g}^{-1}$  secara berturut-turut. Adsorpsi ciprofloxacin dari material  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$  maupun karbon kosong lebih memenuhi model isoterm Langmuir dan kenaikan suhu dapat meningkatkan penyerapan adsorpsi. Berdasarkan hasil uji degradasinya, material  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$  mampu memfasilitasi pembentukan  $\text{OH}^*$  pada metode Fenton heterogen sehingga ciprofloxacin dapat terurai hingga 99,7% pada suhu  $30^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Selain itu, metode ozonasi katalitik dan kombinasi ozon/ $\text{H}_2\text{O}_2$  juga mampu menguraikan ciprofloxacin hingga mendekati konsentrasi 0 M karena keberadaan  $\text{OH}^*$ . Selain itu, hasil pengujian pemakaian berulang (*recycle*) terhadap material  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$  menunjukkan bahwa tidak terjadi penurunan performa yang cukup signifikan setelah digunakan sebanyak lima kali untuk menyerap dan memfasilitasi penghilangan ciprofloxacin dengan metode Fenton heterogen, ozonasi katalitik, serta kombinasi ozon/ $\text{H}_2\text{O}_2$ .

**Kata kunci:** adsorpsi; ciprofloxacin; Fenton heterogen; karbon berpori; ozonasi katalitik

**ABSTRACT**

Due to the great consumption and only partial removal by conventional hospital water treatment processes, ciprofloxacin, an antibiotic from the fluoroquinolones group, has been detected in some water resources and increasing concerns for possible environmental and health impact. One of the effects is that pathogenic microorganisms become persistent and survive in the environment if exposed to antibiotics continuously. This work aims to conduct an explorative study of hospital wastewater treatment containing ciprofloxacin compound by adsorption process using porous carbon material from polymer and then followed by a degradation process using several advanced oxidation technologies.

Porous carbon material was synthesized through several stages i.e. polymerization of resorcinol-formaldehyde and carbonization (800°C). The properties of porous carbon (blank carbon and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C) were characterized by N<sub>2</sub>-sorption analyzer, SEM-EDX, XRD, and TGA. After adsorbing the ciprofloxacin, the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C material was contacted with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and ozone to produce hydroxyl radicals (OH<sup>\*</sup>). The resulting OH<sup>\*</sup> will attack the ciprofloxacin molecule and break it down into simpler molecules that are harmless to the environment.

From the results of SEM characterization, it can be seen that the morphological structure between blank carbon and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C material shows a significant difference. Porous carbon impregnated with iron oxide catalyst has a denser morphology and more uniform voids or channels than blank carbon. The results of the EDX analysis also proved that iron oxide has been successfully loaded on carbon, indicated by the appearance of the Fe peak in the EDX results. The iron oxide catalyst phase formed based on the results of XRD characterization was magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). The results of the N<sub>2</sub>-sorption analyzer analysis showed that the specific surface area of carbon decreased from 594.3 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> to 333.9 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> after impregnated with an iron oxide catalyst. However, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C material has a higher maximum equilibrium uptake (C<sub>u</sub><sub>max</sub>) value than blank carbon, which is 208.31 mg g<sup>-1</sup> and 189.38 mg g<sup>-1</sup>, respectively. Ciprofloxacin uptake by Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C material was best-fit to the Langmuir isotherm model, and the maximum equilibrium uptake increased with increasing temperature. Based on the degradation test result, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C material could facilitate the formation of OH<sup>\*</sup> in the heterogeneous Fenton method resulting in 99.7% degradation of ciprofloxacin at 30°C for 2 hours. The degradation performance for the other two oxidation processes: catalytic ozonation and ozone/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> combination, has been explored as well. Those methods could degrade ciprofloxacin up to 0 M due to the presence of OH<sup>\*</sup>. In addition, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/C material could be reused up to 5 cycles without significantly reducing the catalytic activity to re-adsorb and promote the formation of hydroxyl radicals for ciprofloxacin degradation using heterogeneous Fenton, catalytic ozonation, and ozone/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Keywords:** adsorption; ciprofloxacin; heterogeneous Fenton; porous carbon; catalytic ozonation